7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction
7e Conférence internationale sur la réaction alcali-granulat

FIELD TRIP GUIDEBOOK

87-03094/

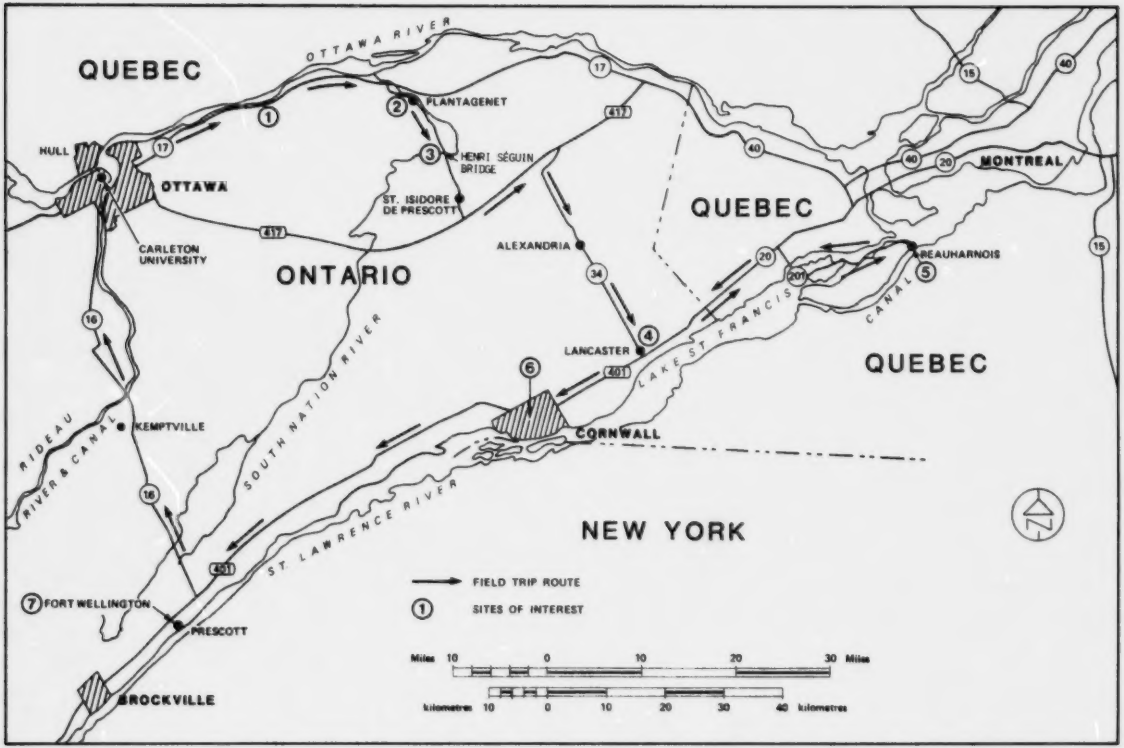


Figure 1 Field trip route map

ALKALI AGGREGATE FIELD TRIP GUIDE

ITINERARY

Our tour will take us from Ottawa, the capital of Canada, eastwards along the Ottawa River to Plantagenet (see map on facing page). The route then goes south across the lowlands to the St. Lawrence River. We follow the St. Lawrence eastwards to the Beauharnois hydro-electric dam for lunch. The afternoon will be spent in the City of Cornwall. In the evening, we will follow the St. Lawrence westwards to Fort Wellington in Prescott, where we will have a barbecue.

1. Landslip in sensitive Leda Clay.

2. Bowstring arch bridge (1925) in Village of Plantagenent.

3. Stop (1/2 hr.), Henry Séguin Bridge over the South Nation River. An example of alkali-silica reaction with slightly cherty limestone.

4. Village of Lancaster, the site of a recent example of the alkali-carbonate reaction.

5. Stop (3 hr.), Beauharnois Hydro-Electric Dam of Quebec Hydro. An example of the alkali-silica reaction with the Potsdam sandstone.

6. Stop (1 hr.), City of Cornwall. Examples of the alkali-carbonate reaction will be seen in sidewalks, curb, and gutter.

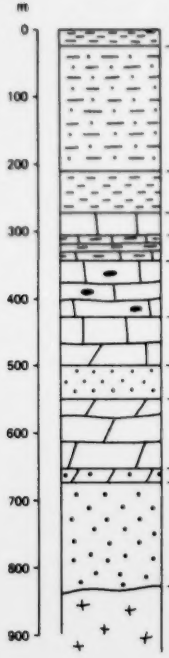
7. Stop (3 hr.), Blockhouse at Fort Wellington in Prescott. We will have a barbecue and an opportunity to tour the fort.

   Note that Blockhouse is built of buff weathering Oxford dolostone. Upper loopholes are built of light grey weathering Gull River limestone from Kingston.

   We will return to Carleton University by about 10:00 p.m.

Field Trip Guide Book (in French and English); 7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction, Ottawa, Aug. 1986, Published by Ontario Ministry of Transportation and Communications, Engineering Materials Office, Materials Information Report #99, Downsview, Ontario, Canada

BASED ON GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA - RUSSELL DRILL HOLE



FORMATION	ROCK TYPE	CONSTRUCTION USES	NOTES
QUEENSTON	RED SHALE	CLAY BRICK & FILL	CLAY CONTENT OF QUEENSTON AND CARLSBAD IS TOO HIGH FOR ANY AGGREGATE USE. POTENTIAL SOURCE OF SHALE FOR MAKING LIGHTWEIGHT EXPANDED SHALE AGGREGATE.
CARLSBAD	GREY SHALE, SILSTONE AND MINOR LIMESTONE	FILL MATERIAL	
BILLINGS	BLACK SHALE WITH PYRITE	NONE	OXIDATION OF PYRITE AND SUBSEQUENT FORMATION OF GYPSUM CAUSES HEAVING OF FOUNDATIONS IN THIS SHALE
LINDSAY	LIMESTONE	ALL AGGREGATE USES	SHALE MAY BE A PROBLEM, CAUSING POPOUTS IN ASHALT AND PORTLAND CEMENT CONCRETE.
VERULAM	SHALEY LIMESTONE	GRANULAR MATERIAL	TOO MUCH SHALE FOR HIGH QUALITY USES.
BOBCAYGEON	LIMESTONE OCCASIONAL CHERT	ALL AGGREGATE USES BUILDING STONE	**ALKALI - SILICA REACTION**, CHERT AND CHALCEDONY PRESENT IN SOME HORIZONS. 3% OR LESS MAY CAUSE A PROBLEM.
GULL RIVER	LIMESTONE & DOLOMITIC LIMESTONE	ALL AGGREGATE USES	**ALKALI - CARBONATE REACTION**, DOLOMITIC LIMESTONE IN LOWER BEDS. UPPER BEDS ARE NON - REACTIVE.
ROCKCLIFFE	SILTY SANDSTONE AND SHALE	GRANULAR MATERIAL LIMITED USE IN CONCRETE IN PAST	**ALKALI - SILICA REACTION**, A RIM FORMER IN CONCRETE, NO ALKALI - SILICA GEL FOUND.
OXFORD	DOLOSTONE	ALL AGGREGATE USES BUILDING STONE	IRON SULPHIDES OXIDIZE TO IRON SULPHATE AND GYPSUM IN CONCRETE STORED AT 150°C CAUSING EXPANSION > 0.5%.
MARCH	SANDY DOLOSTONE	SKID RESISTANT AGGREGATE	USE IN HIGH TRAFFIC VOLUME ROADS.
POTSDAM GROUP (CAIRNSIDE MEMBER OF CHATEAUGUAY FORMATION)	SANDSTONE	BUILDING STONE	**ALKALI - SILICA REACTION**, EXTENSIVELY USED AS BUILDING STONE FOR PARLIAMENT BUILDINGS IN OTTAWA.
PRECAMBRIAN	GRANITE GNEISS	BUILDING STONE AND ALL AGGREGATE USES	FOUND IN LOCAL GRAVEL DEPOSITS. ALSO A FEW SMALL QUARRIES IN QUEBEC.

Figure 2 Generalised stratigraphy of the Ottawa-St. Lawrence Lowland

ALKALI-SILICA REACTION AT HENRY SÉGUIN BRIDGE

Introduction

J. Henry Séguin Bridge over the South Nation River was built in 1969 by Bertrand et Frère Const. Co. Ltd. of L'Orignal. The cracking seen in this structure is typical of that found in about twenty highway structures in this area. These structures were all built between 1969 and 1973.

The cement used probably had an alkali content of between about 0.9 and 1.0% Na_2O. The cement content in the structure is about between 310 - 410 kg/m^3.

Note the pattern cracking in the barrier walls (inside and outside), abutments, some cracking in the soffit of the deck. Also note that some cracking in the barrier wall is vertical, at regularly spaced intervals, corresponding with the reinforcing steel. The south pier contains some vertical cracks and associated leaching. Also note some movement of the deck; the north expansion joint is closed, while the south joint has opened.

Local experience is that, after 30 to 40 years, the maintenance and repair costs for this structure will be far higher than for structures that never exhibited this type of cracking.

Figure 3 Bowstring arch bridge over South Nation River in Plantagenet C1925

Petrography of the Concrete

The pattern cracks penetrate the concrete about 5 cm. Below this, the concrete is extensively microfractured. Typically, the coarse aggregates show peripheral cracks 1 - 2 mm in from the outside of the particle. Alkali-silica gel is common, but widely dispersed. Gel is found lining air voids and coating fracture surfaces.

Figure 4 Henry Séguin Bridge over South Nation River C1969

Petrography of the Aggregate

The source of the alkali-silica gel is thought to be chalcedony in the coarse aggregate. The coarse aggregate is a slightly cherty limestone from the Bobcaygeon Formation of Middle Ordovician Age. The Bobcaygeon Formation is about 86 m thick in this area, and composed of thin to medium bedded sublithographic, fine crystalline, and coarse crystalline limestones. Black, flint-like chert with a concoidal fracture occurs as nodules and lenses up to 5 cm thick.

In the Henry Séguin Bridge, the top beach of the local quarry was used which contains 1 - 3% chert. At present, the lower bench is used for concrete without any signs of alkali reactivity.

The Bobcaygeon Formation is equivalent to the Leray, Ouareau, Mile End, and Deschambault Formations of the Montreal area.

Figure 5 Pattern cracking in parapet wall of Henry Séguin Bridge due to alkali-silica reaction

HISTORY OF ALKALI-REACTIVITY AT BEAUHARNOIS

Introduction

Beauharnois is one of the largest generating stations in Eastern Canada. The 36 main turbines of about 2.2 million horsepower have a rated capacity of 1585 megawatts. The dam has a comparatively low head (25 m), but this is compensated by the very great flow of the St. Lawrence River (about 8500 m^3/sec), draining the Great Lakes. The distance, by boat, from here to the head of the lakes at Thunder Bay, is about 1400 km. In order to construct this power station, the flow of the river had to be diverted from the main channel. This required the excavation of a canal. In total, some 190 million cubic metres of material were removed (15% more than required for the Panama Canal). The power house was built in stages as demand for electricity increased:

1928-1932 4 main and 2 auxiliary units in service
1932-1948 10 main units installed, completion Stage 1
1948-1953 14 main units, installed, Stage 2 completed
1956-1960 10 main units installed, Stage 3 completed

The water intake structure and power house were built of concrete. The aggregate for the concrete was from the sandstone excavated during construction. The oldest part of the structure at the south shows more signs of alkali-silica reaction than the newer concrete at the north end adjacent to the seaway locks.

We will spend about 3 hours here. The first hour will be spent at one end of the dam. Then, we will return to the bus, and drive to the other end of the dam, and inspect that. The final hour will be spent having a picnic lunch.

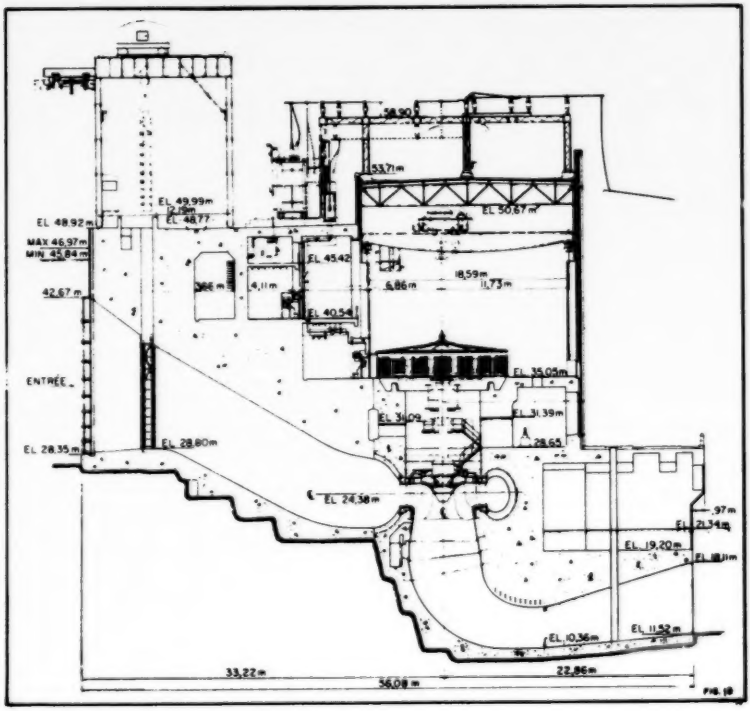


Figure 6 Cross section of Beauharnois Power Dam

History of Damage and Remedial Action

Early Signs

At the beginning of the 1940's, about 10 years after construction of the south (right) bulkhead and stage 1, leaks were found through cracks in the bulkhead. At the same time, cracks were observed in the water intake structure (upstream from the power house, and separated by a construction joint), and the administration building at the south of the structure. Since then, cracking and deformation has continued. In the 1950's, a joint in the south (right) bulkhead and the water intake structure was filled with asphalt (2.5 M W of junction). In 1965, injections were made to stop water seepage through the bulkhead. In 1968, holes were drilled in this bulkhead to drain water in the concrete. In 1970 and 1971, post-tensioned cables were installed in the south bulkhead. This was to prevent opening of cracks that had formed in the bulkhead near the water intake structure.

Discovery of the Reaction and Remedial Action

In 1972, the St. Lawrence Seaway Authority reported that they were observing significant expansion of two lift bridges containing Potsdam sandstone aggregate, a few miles upstream from the Beauharnois Dam. The bases of steel guide rails which carried the lifting sections had separated by 3.5 cm since 1957. Every spring, they had to adjust the steel guides to allow for expansion that had occurred over the previous year. Study showed that the cause of the movement was an alkali-silica reaction with the Potsdam sandstone used as coarse aggregate. Thereafter, attention was turned to Beauharnois Dam. In 1973, diamond drilling was done to open the construction joint at the junction between the south bulkhead and the water intake structure. This joint was 1.8 m long and 20 m deep. In 1974, more of the joint (2.3 m) was opened, but only to a depth of 2.7 m, and the remainder (1.2 m) to a depth of 4.6 m. The intention in this case was to produce a shear plane parallel to the water intake structure to direct future cracking and movement.

The opening of these joints had some remarkable effects:

1. There was a noticable reduction in the upward movement of the south (right) bulkhead.

2. The top of the south bulkhead moved north, toward the centre of the dam, 33 mm in five years, 70% in the first two years. Near the foundation, the movement was 31 mm in the first three years.

3. The water intake structure (dam) increased in length 27 mm at the top (5 years) and 8 mm near the foundation. Again, most of this movement took place during the first three years.

Figure 7 Pattern cracking in parking lot at Beauharnois

Because of damage to the administration building at the south of the dam, it was separated from the water intake structure. Beams, slabs, and walls were cut and loads transferred by using additional support. When cutting the last reinforced concrete beam, the joint suddenly closed with a loud noise that shook the structure. It had to be drilled two more times to obtain the required joint.

Very accurate devices have been used to measure movement of the structures. A pendulum in the stairwell of the administration building showed movement of 1.6 mm/yr downstream, and 0.9 mm/yr towards the south (right). Immediately after cutting, the building moved 8.8 mm upstream, and 2.7 mm north (left). Thereafter, movements have been 0.2 mm/yr upstream, and 1.5 mm/yr north (left).

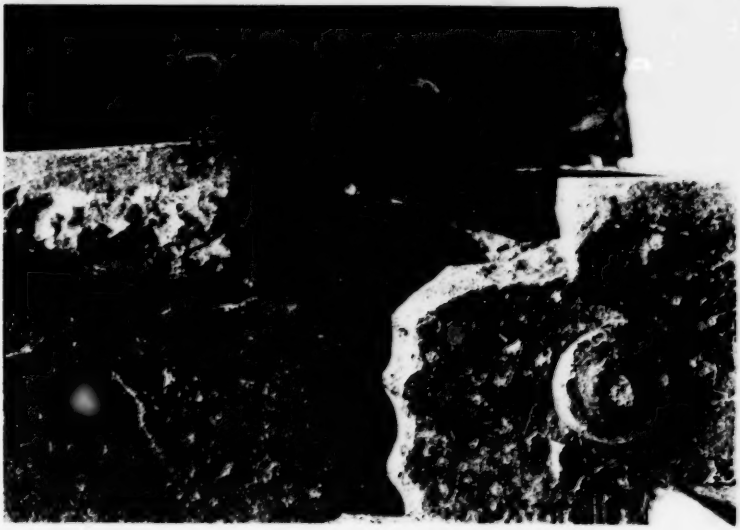


Figure 8 Displacement of structure at the left (south) bulkhead following drilling of expansion joint

North (Left) Bulkhead

Construction of this part of the structure was completed in 1958. The concrete has a far better appearance than that at the south of the structure. This is, however, misleading. Deformation is taking place but, as yet, little remedial action has been taken. The north (left) bulkhead is moving north (1.7 mm/yr) and the water intake structure is moving downstream (1.9 mm/yr). This is causing cracking of ceramic tiles near the elevator well at this end of the dam. Expansion joints have been cut between No. 36 unit and the turbines to the south.

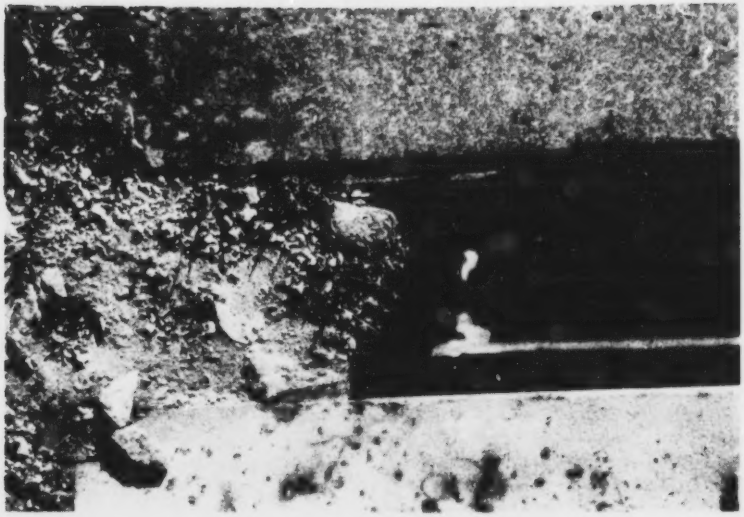


Figure 9 Displacement of structure at the left (south) bulkhead has bent steel I beam

Petrography of Concrete at Beauharnois

The sandstone coarse aggregate commonly shows dark, well cemented, clarified rims at the edge in contact with cement paste. These rims are often associated with peripheral microcracks in the aggregate. The centre of the coarse aggregate particles are often depleted in silica cement and porous. Berard and Lapierre (1977) suggested that the alkalies preferentially attacked the silica cement, redepositing it as alkali-silica gel in the concrete. They placed polished slabs of sandstone in hot, concentrated solutions of NaOH for a few minutes. This dissolved the silica cement, but had little effect on the original detrital quartz grains. They did not consider the rare grains of chert, found in the sandstone, to be a significant contributor to this reaction.

Alkali-silica gel is common in concrete containing Potsdam sandstone. Berard and Lapierre (1977) recognized two types of gel. The first gel formed was opalescent in nature; this was commonly followed by a white procellanous gel in the centre of the air voids.

Description of the Potsdam Sandstone

The Potsdam Sandstone Group is a thick sequence of quartz sandstones laying uncomformably on the Precambrian basement. The rock at Beauharnois is a pure quartz sandstone of the Cairnside Member of the Chateauguay Formation. The Potsdam Group is up to 610 m thick in the Montreal area. It thins rapidly toward the west. Near Ottawa, there is a maximum thickness of about 15 m. These sandstones are thought to be of upper Cambrian or lower Ordovician Age (520-450 million years).

At Beauharnois, the sandstone is thin to medium bedded. Cross bedding is common, being well displayed in the rock cut at the entrance to the tunnel under the canal. The sandstone contains over 95% SiO_2. It is light grey in colour on a fresh surface, but weathers to a red colour. The sandstone is strong, and well cemented with quartz overgrowths on the original quartz sandgrains. The quartz is of a clear nature, the majority of the grains showing a low degree of strain shadowing or undulatory extinction. The quartz cement present as expitaxial growth can be distinguished by the presence of thin rims of dust particles on the original detrital quartz grains. Crystal facets are uncommon because of interference by adjacent overgrowths. Berard and Lapierre (1977) reported that minerals other than quartz were in decreasing importance; calcite, feldspar, dolomite, mica, pyrite, zircon, and chert. Of the feldspars present, microcline is most common, while plagioclase is very rare.

This sandstone was deposited in a shallow beach and tidal environment. The immediate source of the sand is thought to be the underlying and less mature sequence of sand (Covey Hill Formation). The original source of the quartz is postulated to be acid igneous rocks, rather than from high grade metamorphic terrains characterized by gneisses and schists (Lewis, 1971).

Conclusion

All three parts of the Beauharnois Power Station are affected by an alkali-silica reaction with the Potsdam sandstone. Most movement and damage has taken place at the junction of the dam with the north and south bulkheads. At present, little remedial work is being done. Movement is being monitored, and expansion joints are cut where appropriate.

ALKALI-CARBONATE REACTION IN CORNWALL

Introduction

The alkali-carbonate reaction was first recognized by Swenson (1957) in the Town of Kingston, 160 km west of Cornwall. On Water Street in Cornwall, adjacent to the Cornwall Arena, concrete sidewalks, and curb and gutter suffering from this reaction can be seen. This concrete was placed in 1979, and now shows pattern cracking and other signs of expansion. Sidewalks around the shopping centre are affected to some extent, but the building and adjacent parking garage were not built with these aggregates. The alkali content of the cement was about 1.0% Na_2O equivalent, and the cement content was about 300 kg/m^3.

The expansive carbonate aggregate came from a quarry just to the north of Cornwall. In 1978, the owner deepened his quarry, but did not test the new bench (4th level) for alkali-reactivity. Parts of two bridges, a dam, and many miles of concrete sidewalk were built with this aggregate before the problem was recognized in 1982.

East of the Cornwall Arena on the north side of Water Street, some retaining walls showing pattern cracking may be seen. These walls were built in 1976, using aggregate from the 3rd level from the same quarry. The 3rd level aggregate is not as expansive as the 4th level aggregate, but, nevertheless, causes objectionable cracking.

Concrete made with the 4th level aggregate has shown expansion in the field of up to 1.2% after 3 years!

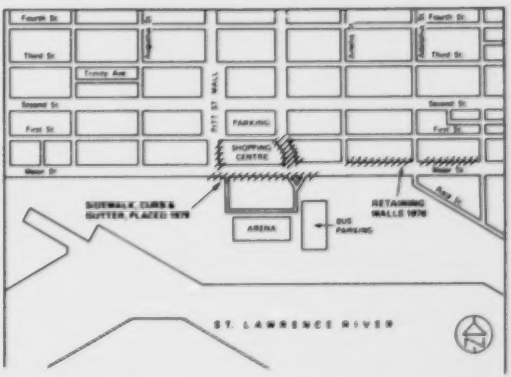


Figure 10 Walking map of City of Cornwall

Petrography of Alkali-Carbonate Reaction

Concrete

The coarse aggregate was 19 mm crushed limestone and dolomitic limestone. The fine aggregate was a local natural sand composed mainly of quartz and feldspar. The concrete was highly fractured with cracks through the paste and around many of the coarse aggregate particles, but through the dolomitic limestone particles. Ettringite was a common secondary mineral lining fracture surfaces, air voids, and at paste/aggregate interfaces. About 50 percent of the coarse aggregate particles had thin (<1 mm), dark rims around their outside. These were particles of shaley and silty dolomitic limestone. There was usually a marked depletion of calcium hydroxide in the paste surrounding these particles.

Figure 11 Typical cracking of concrete slab by alkali-carbonate reaction after 3 years

Aggregate

The rocks responsible for the expansion of the concrete were dolomitic limestones from the Gull River Formation of Middle Ordovician Age. Table 1 shows the range in chemical composition of those samples that gave more than 0.1 percent expansion at 4 weeks in the rock cylinder expansion test (ASTM C586). In hand specimen, these rocks are fine grained, medium grey to dark grey, thin to medium bedded dolomitic limestones. In thin section, clear rhombohedral dolomite crystals of about 50 µm are enclosed in a cryptocrystalline matrix of micritic calcite, clay and silt size quartz. The dolomite crystals make up between 5 - 50% of the area of the thin sections. There are occasional shaley seams which contain concentrations of iron sulphides. Fossil fragments, brachiopod valves are common. Generally, those samples that contain the highest clay mineral content, as measured by Al_2O_3, gave the greatest expansion.

The Gull River Formation is about 43 m thick in this area. It is divided into two members, the lower one containing the alkali-carbonate reactive rock. The Gull River Formation is equivalent to the Pamelia and Lowville Formations of the Montreal area.

Table 1

COMPOUND	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CaO:MgO
RANGE OF VALUES IN PERCENT	6-22	2.1-6.3	27-41	3.6-8.3	3.1-11.0

Figure 12 Expansion of alkali-carbonate reactive concrete curb on a radius caused shoving and tension cracks in adjacent asphalt after 3 years

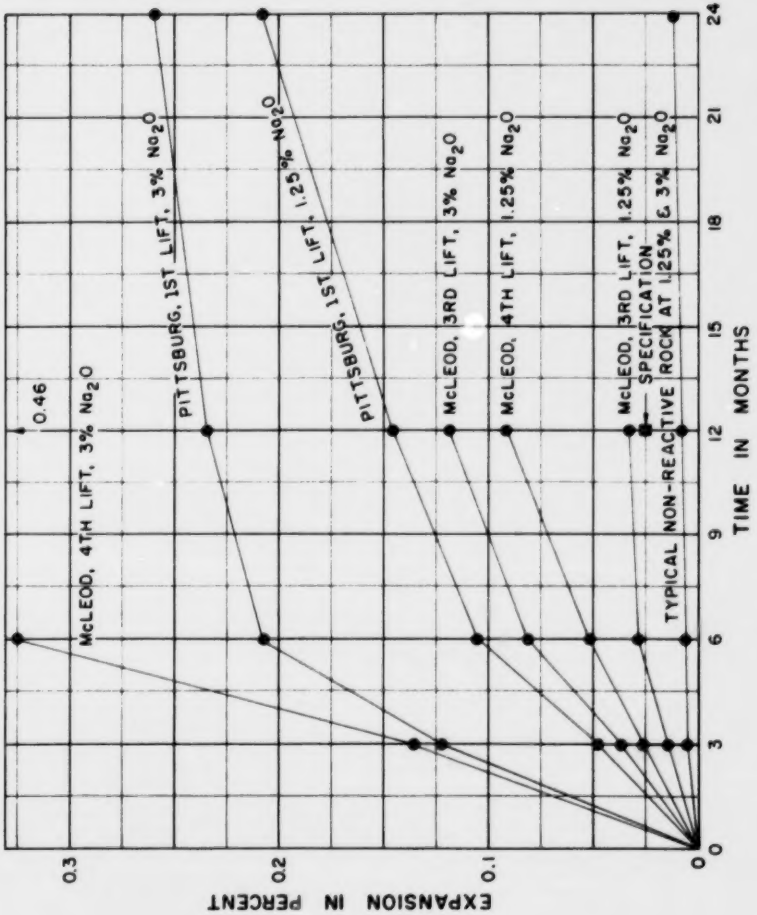


Figure 13 Concrete prism expansion data (CSA A23.2-14A) for the McLeod Quarry in Cornwall, and the Pittsburg Quarry in Kingston, where the reaction was first recognized

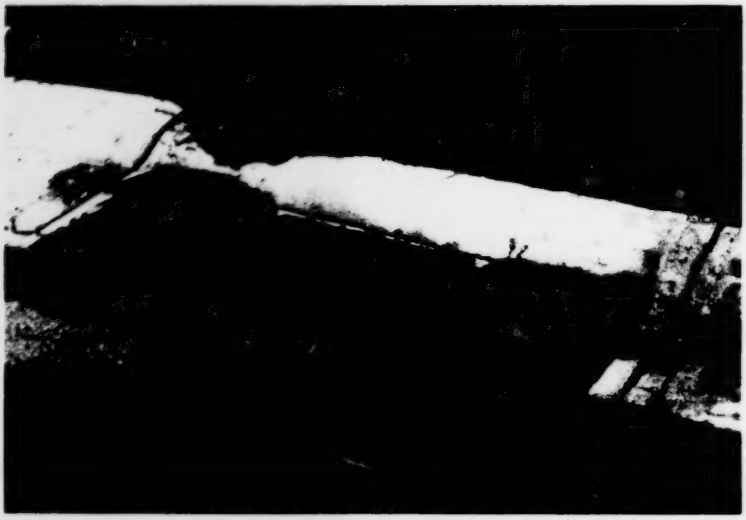


Figure 14 Damage to concrete and cracking in asphalt caused by the alkali-carbonate reaction after 3 years

REFERENCES

BERARD, J. and N. LAPIERRE; 1977; Reactivites aux Alcalis du Gres de Potsdam Dans Les Betons; Canadian Journal of Civil Engineering, v.4, pp332-344.

LAPIERRE, N. and M. STERESCO; 1979; Comportement a leur Jonction du Bloc Prise d'Eau-Centrale et Des Cloisons a l'Amenagement Beauharnois (Behavior at the joints between the water intake powerhouse block and the bulkheads at the Beauharnois Power Development); Commission Internationale des Grandes Barrages, Third Congress on Large Dams, New Delhi, Q48, pp143-161.

LEWIS, D.W.; 1971; Qualitative Petrographic Interpretation of Potsdam Sandstone (Cambrian), Southwestern Quebec; Canadian Journal of Earth Sciences, v.8, pp853-882.

ROGERS, C.A.; 1985; Evaluation of the Potential for Expansion and Cracking due to the Alkali-Carbonate Reaction; Ontario Ministry of Transportation and Communications, Engineering Materials Office, Report EM-75, February, 38p.

SWENSON, E.G.; 1957; A Reactive Aggregate Undetected by ASTM Tests; ASTM Bull. No. 226, Dec., pp48-51.

7th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction
7e Conférence internationale sur la réaction alcali-granulat

GUIDE D'EXCURSION

The

RIVER St. LAWRENCE,

accurately drawn from

D'ANVILLE's MAP

Publish'd under the patronage of

The DUKE of ORLEANS.

Engraved for J. Harrison N°15 Newgate Street.

LONDON.

SCALE.
Canadian Leagues
Marine Leagues or 60 to a Degree

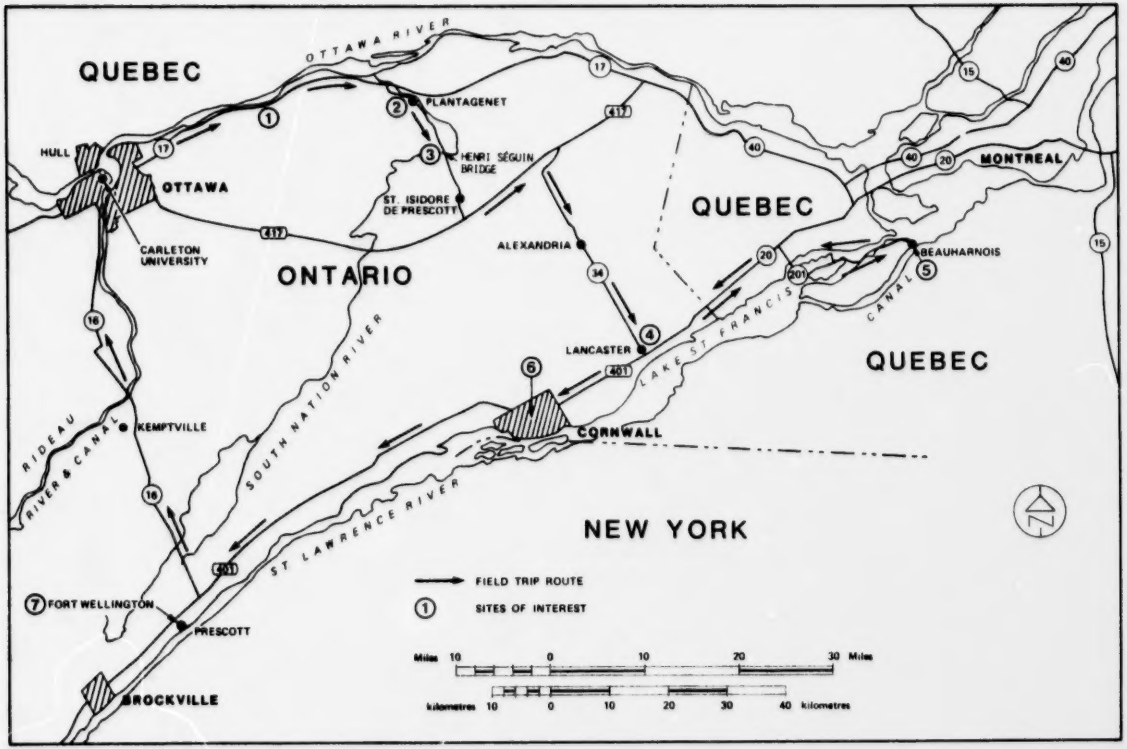


Figure 1 Carte routière de l'excursion

GUIDE D'EXCURSION ALCALI-GRANULAT

ITINÉRAIRE

L'itinéraire du voyage d'étude commence à Ottawa, capitale du Canada, et se poursuit le long de la rivière des Outaouais jusqu'à Plantagenet (voir la carte sur la couverture). La route traverse ensuite les Basses Terres du Saint-Laurent vers le Sud et longe le fleuve en direction Est jusqu'à la centrale hydro-électrique de Beauharnois où aura lieu le déjeuner. L'après-midi se déroulera dans la ville de Cornwall. Dans la soirée nous remonterons le Saint-Laurent vers l'Ouest jusqu'au Fort Wellington (Prescott) où est prévu un barbecue.

1. Glissement de terrain dans des argiles à Leda.

2. Pont en arche Bowstring du village de Plantagenet (1925).

3. Arrêt (½ h), Pont Henry Séguin de la Rivière South Nation Exemple typique de réaction alcali-silice avec du calcaire contenant un peu de chert.

4. Village de Lancaster, lieu d'un exemple récent de réaction alcali-carbonate.

5. Arrêt (3 h). Barrage hydro-électrique de Beauharnois (Hydro-Québec). Exemple de réaction alcali-silice avec du grès de Potsdam.

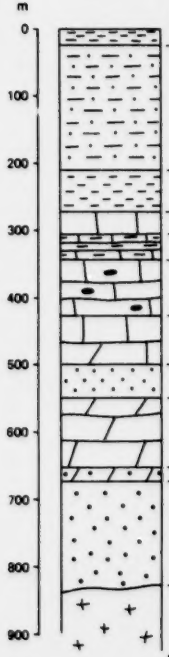
6. Arrêt (1 h), ville de Cornwall. Exemples de réaction alcali-carbonate dans les trottoirs, les bordures de trottoir et les caniveaux.

7. Arrêt (3 h). Blockhaus à Fort Wellington (Prescott). Visite du fort et barbecue.

On remarquera que la cassine est en pierres dolomitiques d'Oxford altérée en jaune par les intempéries. Les meurtrières en partie supérieur sont faites de calcaires de Gull River de Kingston et sont altérés en gris pâle.

Le retour à l'Université Carleton est prévu pour environ 22 h.

BASED ON GEOLOGICAL SURVEY OF CANADA - RUSSELL DRILL HOLE



FORMATION	ROCK TYPE	CONSTRUCTION USES	NOTES
QUEENSTON	RED SHALE	CLAY BRICK & FILL	CLAY CONTENT OF QUEENSTON AND CARLSBAD IS TOO HIGH FOR ANY AGGREGATE USE. POTENTIAL SOURCE OF SHALE FOR MAKING LIGHTWEIGHT EXPANDED SHALE AGGREGATE.
CARLSBAD	GREY SHALE, SILSTONE AND MINOR LIMESTONE	FILL MATERIAL	
BILLINGS	BLACK SHALE WITH PYRITE	NONE	OXIDATION OF PYRITE AND SUBSEQUENT FORMATION OF GYPSUM CAUSES HEAVING OF FOUNDATIONS IN THIS SHALE.
LINDSAY	LIMESTONE	ALL AGGREGATE USES	SHALE MAY BE A PROBLEM, CAUSING POPOUTS IN ASHALT AND PORTLAND CEMENT CONCRETE.
VERULAM	SHALEY LIMESTONE	GRANULAR MATERIAL	TOO MUCH SHALE FOR HIGH QUALITY USES.
BOBCAYGEON	LIMESTONE OCCASIONAL CHERT	ALL AGGREGATE USES BUILDING STONE	**ALKALI - SILICA REACTION,** CHERT AND CHALCEDONY PRESENT IN SOME HORIZONS. 3% OR LESS MAY CAUSE A PROBLEM.
GULL RIVER	LIMESTONE & DOLOMITIC LIMESTONE	ALL AGGREGATE USES	**ALKALI - CARBONATE REACTION,** DOLOMITIC LIMESTONE IN LOWER BEDS. UPPER BEDS ARE NON - REACTIVE.
ROCKCLIFFE	SILTY SANDSTONE AND SHALE	GRANULAR MATERIAL LIMITED USE IN CONCRETE IN PAST	**ALKALI - SILICA REACTION,** A RIM FORMER IN CONCRETE. NO ALKALI - SILICA GEL FOUND.
OXFORD	DOLOSTONE	ALL AGGREGATE USES BUILDING STONE	IRON SULPHIDES OXIDIZE TO IRON SULPHATE AND GYPSUM IN CONCRETE STORED AT 150°C CAUSING EXPANSION > 0.5%.
MARCH	SANDY DOLOSTONE	SKID RESISTANT AGGREGATE	USE IN HIGH TRAFFIC VOLUME ROADS.
POTSDAM GROUP (CAIRNSIDE MEMBER OF CHATEAUGUAY FORMATION)	SANDSTONE	BUILDING STONE	**ALKALI - SILICA REACTION,** EXTENSIVELY USED AS BUILDING STONE FOR PARLIAMENT BUILDINGS IN OTTAWA.
PRECAMBRIAN	GRANITE GNEISS	BUILDING STONE AND ALL AGGREGATE USES	FOUND IN LOCAL GRAVEL DEPOSITS. ALSO A FEW SMALL QUARRIES IN QUEBEC.

Figure 2 Stratigraphie générale des vallées de l'Outaouais et du Saint-Laurent

RÉACTION ALCALI-SILICE: PONT HENRY SÉGUIN

Introduction

Le pont J. Henry Séguin qui enjambe la Rivière South Nation a été construit en 1969 par la Bertrand et Frères Const. Co. Ltée de l'Orignal. La fissuration observée sur cet ouvrage est typique de celles que l'on retrouve sur une vingtaine de ponts routiers de la région. Tous ces ponts ont été construits entre 1969 et 1973.

Le ciment de ces ponts avait probablement une teneur en alcali d'environ 0.9 et 1.0 % de Na_2O. Les dosage en ciment du béton est d'environ 310 à 410 kg/m^3.

On remarquera la disposition des fissures dans les murets de retenue (du côté intérieur et du côté extérieur), dans les culées ainsi que les fissures sous les bords du tablier. De plus on voit bien que certaines fissures des murets de retenue sont verticales, espacées régulièrement comme les armatures d'acier. Le pilier Sud a des fissures verticales avec des coulures. On remarquera aussi le déplacement du tablier, le joint de dilatation Nord étant fermé alors que le joint Sud s'est élargi.

L'expérience permet d'affirmer qu'après 30 à 40 ans le coût des réparations de cet ouvrage d'art sera beaucoup plus élevé que celui des autres structures similaires n'ayant pas subi la réaction alcali-silice.

Figure 3 Pont Bowstring sur la rivière South-Nation à Plantagenet (1925)

Pétrographie du béton

Les fissures pénètrent de 5 cm dans le béton. Sous la zone de fissuration on retrouve de très nombreuses microfissures. En général, les granulats grossiers sont entourés de fissures périphériques de 1 à 2 mm autour de la particule. Le gel d'alcali-silice est fréquent mais très dispersé. Le gel remplit les vides et recouvre les surfaces fissurées.

Figure 4 Pont Henry Séguin sur la rivière South-Nation (1969)

Pétrographie des granulats

Le gel alcali-silice semble provenir de la calcédoire des granulats grossiers. Les granulats grossiers sont des calcaires avec un peu de chert de la formation Bobcaygeon d'âge Ordovicien moyen. La formation Bobcaygeon a environ 86m d'épaisseur dans cette région et elle est formée de lits minces à moyens de calcaires sublithographiques, microcrystallins ou cristallins, Des cherts noirs avec une fracture concoidales se présentent sous forme de nodules et de lentilles atteignant 5 cm d'épaisseur.

Les granulats du pont Henry Séguin proviennent de la couche supérieure d'une carrière locale contenant 1 % à 3 % de chert. Actuellement, on exploite une couche plus profonde pour obtenir les granulats du béton et il n'y a pas eu de signe de réaction alcaline.

La formation Bobcaygeon est semblable aux formations Leray, Ouareau, Mile End et Deschambault de la région de Montréal.

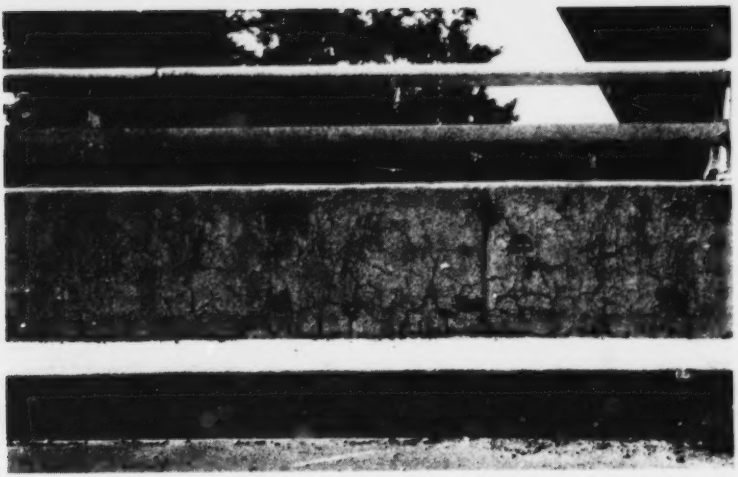


Figure 5 Craquelage dans le mur du parapet du pont Henry Séguin causé par la réaction alcali-silice

HISTORIQUE DE LA RÉACTION ALCALI À BEAUHARNOIS

Introduction

Beauharnois est une des plus importantes centrales hydro-électriques de l'Est du Canada. Les trente-six turbines principales ont une puissance de 2.2 millions de H.P. et peuvent produire 1585 mégawatts. La hauteur de retenue du barrage est relativement faible (25 m), mais le débit du fleuve Saint-Laurent est impressionnant (environ 8 500 m^3/s) puisqu'il est alimenté par les Grands Lacs. La distance en bateau de la centrale à l'extrémité opposée des Grands Lacs à Thunder Bay est d'environ 1400 km. Pour construire cette centrale il a fallu dévier le lit principal du fleuve. On a donc creusé un canal. Au total environ 190 millions de mètres cubes de matériaux ont été déblayés (15 % de plus que pour le canal de Panama). La centrale a été construite en plusieurs étapes au fur et à mesure que la demande en électricité augmentait:

1928-1932 mise en service de 4 turbines principales et 2 turbines auxiliaires
1932-1948 10 autres turbines principales, achèvement de la phase 1
1948-1953 14 autres turbines principales, achèvement de la phase 2

1956-1960 10 autres turbines principales, achèvement de la phase 3

La prise d'eau et la centrale sont en béton. Les granulats du béton provenaient des grès excavés durant la construction. Sur la plus ancienne partie de la centrale, du côté Sud, les effets de la réaction alcali-silice sont plus visibles que sur la partie Nord plus récente qui est située à proximité des écluses.

La visite durera environ 3 heures. La première heure permettra de visiter une extrémité du barrage, puis nous reprendrons l'autocar pour aller visiter l'autre extrémité. La dernière heure sera consacrée à un pique-nique.

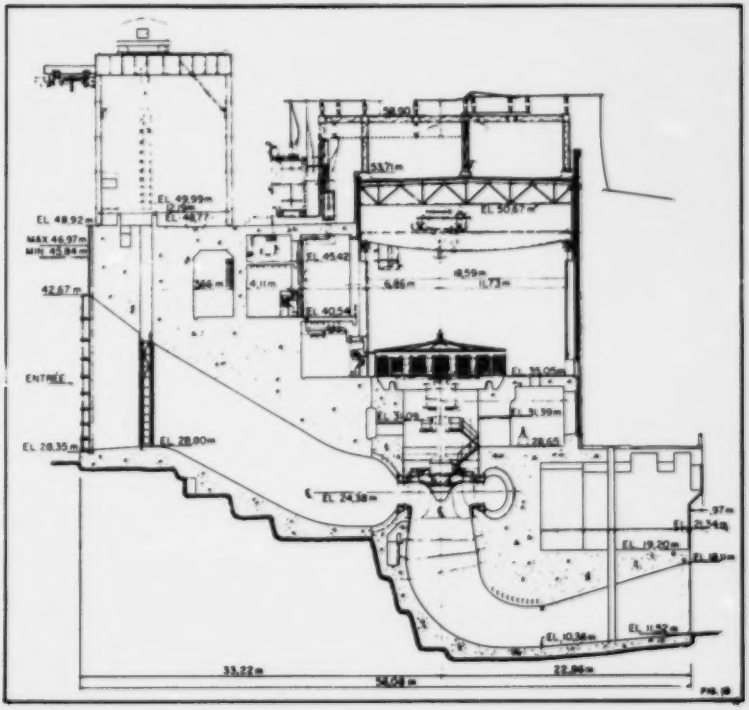


Figure 6 Vue transversale du barrage hydroélectrique de Beauharnois

Historique des dommages et des réparations

Introduction

Au début des années 40, environ 10 ans après la construction du batardeau Sud (à droite) et l'achévement de la phase 1, des fuites furent découvertes à la suite de la fissuration du batardeau. À la même époque, des fissures sont apparues dans la prise d'eau (en amont de la centrale et séparée d'elle par un joint de construction) et dans le bâtiment administratif situé au sud de la structure. Depuis, la fissuration et les déformations ont continué. Dans les années 50, un joint dans le batardeau Sud (à droite) et dans la prise d'eau a été colmaté à l'asphalte (à 2.5 m à l'Ouest de la jonction). En 1965 des injections ont permis d'arrêter les fuites d'eau du batardeau. En 1968, des trous ont été forés dans le batardeau pour évacuer l'eau du béton. En 1970 et en 1971, des câbles de post-tension ont été installés dans le batardeau Sud. Il s'agissait d'empêcher l'ouverture des fissures qui s'étaient formées dans le batardeau à proximité de la prise d'eau.

Découverte de la réaction alcali et réparations

En 1972 l'Administration de la voie maritime du Saint-Laurent signalait qu'elle observait une expansion importante de deux ponts levants construits en béton contenant de la pierre de Potsdam, à quelques milles en amont de Beauharnois. La base des rails de guidage en acier de la section levante s'était écartée de 3.5 cm depuis 1957. Chaque printemps, il fallait ajuster les guides d'acier pour rattraper l'expansion par rapport à l'année précédente. Une étude a montré que le déplacement était dû à une réaction alcali-silice dans le grès de Potsdam dont étaient constitués les granulats grossiers. Peu après c'est le barrage de Beauharnois qui a retenu l'attention. En 1973 un forage au diamant a permis d'ouvrir le joint de construction à la jonction du batardeau sud et de la prise d'eau. Le joint avait 1.8 m de long et 20 m de profondeur. En 1974 le joint a été ouvert davantage (2.3 m) mais seulement sur 2.7 m de profondeur et le reste (1.2 m) sur 4.6 m de profondeur. On désirait former ainsi un plan préférentiel de cisaillement parallèle à la structure de la prise d'eau pour orienter et contrôler les déplacements et la fissuration futurs.

L'ouverture de ces joints a eu des effets remarquables:

1. Il y a eu une réduction très nette du soulèvement du batardeau sud (à droite)

2. Le sommet du batardeau sud s'est déplacé de 33 mm vers le nord et vers le centre du barrage en cinq ans, dont 70 % les deux premières années. À proximité des fondations, le déplacement a été de 31 mm dans les trois premières années.

3. La structure de la prise d'eau (barrage) s'est allongée de 27 mm au sommet (en 5 ans) et de 8 mm au niveau des fondations. Là encore le déplacement s'est surtout produit durant les trois premières années.

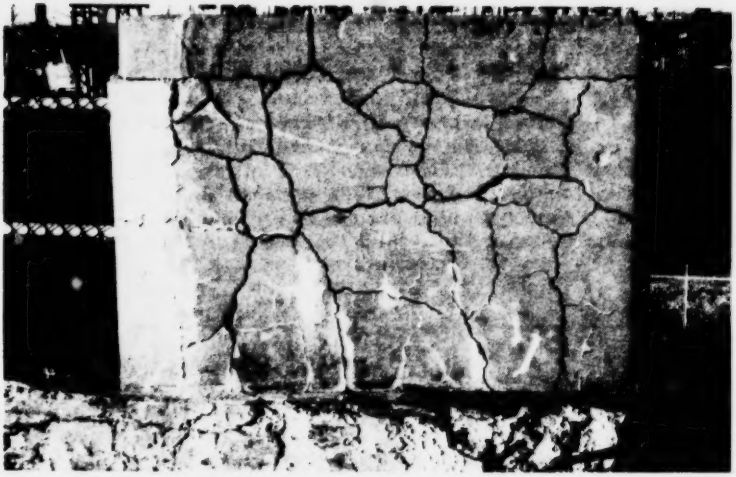


Figure 7 Craquelage d'un pilier de béton dans un terrain de stationnement à Beauharnois

À cause des dégats constatés sur le bâtiment administratif situé au sud du barrage, on a séparé ce bâtiment de la prise d'eau. Les poutres, les dalles et les murs ont été coupés et les charges ont été transmises au moyen de nouveaux supports. Lorsqu'on a coupé la dernière poutre en béton armé, le joint s'est brusquement refermé avec un bruit fracassant qui a ébranlé la structure. Il a fallu procéder à deux forages supplémentaires pour obtenir le joint souhaité.

Des appareils très précis ont permis de mesurer les déplacements des structures. Un pendule placé dans les escaliers du bâtiment administratif a indiqué un déplacement de 1.6 mm/an en aval et de 0.9 mm/an vers le sud (à droite). Immédiatement après le découpage, l'immeuble s'est déplacé de 8.8 mm en amont et de 2.7 mm vers le nord (à gauche). Ensuite, les déplacements ont été de 0.2 mm/an en amont et de 1.5 mm/an vers le nord (à gauche).

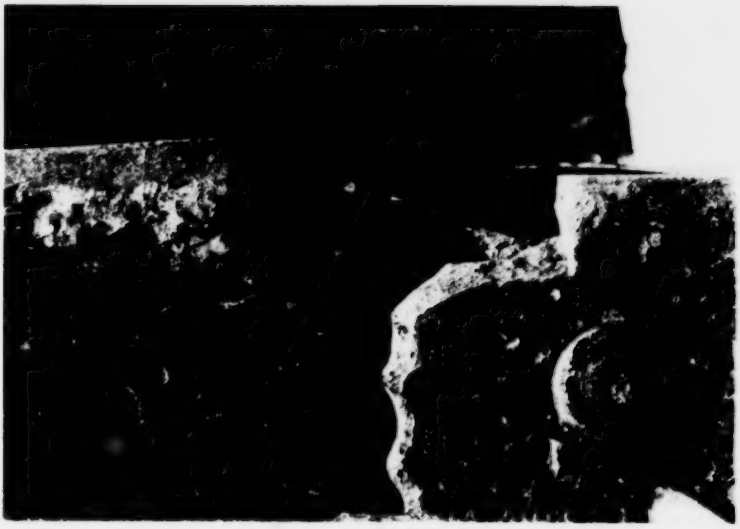


Figure 8 Déplacement de la structure au mur de retenue de gauche (sud) après forage dans le joint de dilatation

Batardeau Nord (à gauche)

La construction de cette partie de la structure a été achevée en 1958. Le béton est d'un meilleur aspect que dans la partie sud de la structure. Cependant il ne faut pas se leurrer. Il y a des déformations mais jusqu'à maintenant aucune réparation n'a été entreprise. Le batardeau Nord (à gauche) se déplace vers le nord (1.7 mm/an) et la prise d'eau se déplace vers l'aval (1.9 mm/an). Les céramiques près du puits d'ascenceur se sont fissurées de ce côté du barrage. Des joints de dilatation ont été découpés entre la turbine n^{o} 36 et les turbines situées au sud.

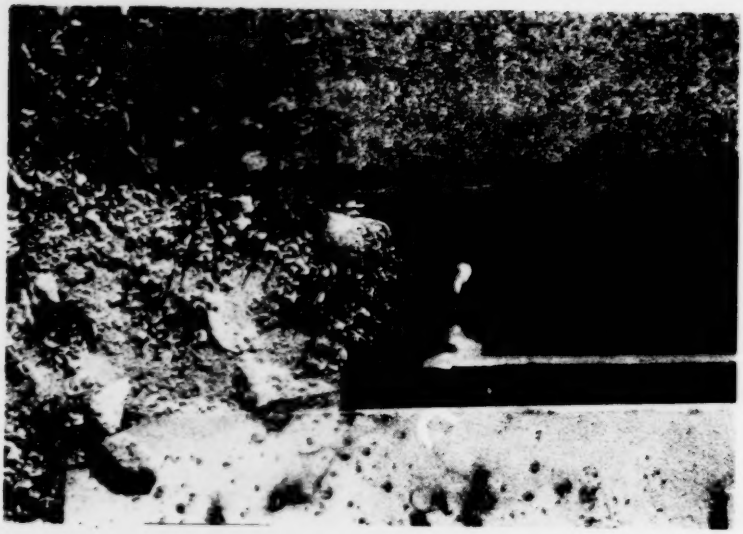


Figure 9 La déplacement de la structure au mur de retenue de gauche (sud) a provoqué le fléchissement d'une poutrelle en acier en I

Pétrographie du béton à Beauharnois

Les granulats grossiers de grès présentent souvent des couronnes de réaction sombres, bien cimentés, aux bords en contact avec la pâte de ciment. Ces couronnes sont souvent associés aux microfissures périphériques des granulats. Les centres des granulats grossiers manquent souvent de silice et sont poreux.Selon Berard et Lapierre (1977), les alcalis attaquent de préférence les ciments siliceux en se redéposant sous forme de gel d'alcali-silice dans le béton. Ils ont fait des expériences avec des plaquettes de grès polies qu'ils ont immergées dans des solutions concentrées de NaOH chaudes durant quelques minutes. Ce traitement dissolvait le ciment siliceux mais avait très peu d'effet sur les grains de quartz détritiques.Selon eux, les rares grains de silex, trouvés dans les grès, ne contribuaient pas à la réaction.

On trouve couramment du gel alcali-silice dans les bétons contenant du grès de Potsdam. Berard et Lapierre (1977) ont distingué deux types de gel. Le premier était opalescent et s'accompagnait généralement d'un gel blanc porcelanique au centre des vacuoles.

Description du grès de Potsdam

Le groupe de grès de Potsdam est une épaisse couche de grès quartzique reposant sur le Précambrien. Le roc à Beauharnois est du grès quartzique pur du Cairnside de la formation de Chateauguay. Le groupe de Potsdam a jusqu'à 610 m d'épaisseur dans la région de Montréal. Il s'amincit rapidement en direction ouest. À proximité d'Ottawa son épaisseur maximum est de 15 m. On pense que ces grès sont du Cambrien supérieur ou de l'Ordovicien inférieur (520 à 450 millions d'années).

À Beauharnois, la couche de grès varie de mince à moyenne. Une stratification transversale est fréquente, et bien visible dans le roc découpé à l'entrée du tunnel sous le canal. Le grès contient plus de 95 % de SiO_2. Il est gris clair sur les surfaces récemment mises à nu et rouge sur les surfaces exposées aux intempéries. Le grès est résistant et bien cimenté avec des excroissances de quartz autour des cristaux de quartz d'origine. Le quartz est clair, la majorité des cristaux n'ayant qu'une faible extinction ondulante due à une faible déformation. Le ciment de quartz présent sous forme de croissance expitaxiale peut être distingué par la présence d'anneaux minces de particules de poussière sur les grains de quartz détritiques d'origine. Les facettes des cristaux sont peu fréquentes à cause des surcroissances adjacentes. Berard et Lapierre (1977) ont signalé que des minéraux autres que le quartz se présentaient dans l'ordre décroissant suivant: calcite, feldspath, dolomite, mica, pyrite, zircon, et silex. Parmi les feldspaths présents, le microline est le plus fréquent alors que le plagioclase est très rare.

Ce grès s'est déposé sur une plage peu profonde subissant l'action des marées. La source de sable semble être sous-jacente et les formations de sable moins vieilles (formation Covey Hill). On croit que le quartz provenant davantage des roches ignées acides plutôt que des roches à fort degré de métamorphisme, tels les gneiss et les schistes, (Lewis 1971).

Conclusion

Les trois parties de la centrale de Beauharnois sont affectées par la réaction alcali-silice provenant du grès de Potsdam. Les dégâts les plus importants se situent à la jonction du barrage avec les batardeaux Nord et Sud. Actuellement, peu de réparations sont entreprises. Les déplacements sont enregistrés et on découpe au besoin des joints de dilatation.

RÉACTION ALCALI-CARBONATE À CORNWALL

Introduction

La réaction alcali-carbonate a d'abord été découverte par Swenson (1957) dans la ville de Kingston à 160 km à l'ouest de Cornwall. Sur la rue Water à Cornwall à proximité de la patinoire de la ville, les trottoirs, les allées piétonnières et les caniveaux en béton ont visiblement souffert de cette réaction. Le béton coulé en 1979 présente aujourd'hui des signes de fissuration et d'expansion. Les trottoirs autour du centre commercial sont moins endommagés mais le bâtiment et le stationnement adjacents n'ont pas été construits avec les mêmes granulats. La teneur en alcalis du ciment était d'environ 1.0 % d'équivalent Na_2O et le dosage en ciment d'environ 300 kg/m^3.

Les granulats expansifs contenant des carbonates provenaient d'une carrière située au Nord de la ville. En 1978, le propriétaire de la carrière a poursuivi l'exploitation en profondeur (4^e niveau) mais sans effectuer de tests de réactivité aux alcalis sur la nouvelle couche de pierre (4^e couche). Des éléments de deux ponts, un barrage, et plusieurs kilomètres de trottoirs ont été construits avec ces granulats avant que le problème ne soit découvert en 1982.

À l'est de la patinoire du côté nord de la rue Water on aperçoit des fissures dans les murs de soutènement. Ces murs ont été construits en 1976 avec des granulats de la même carrière (3^e couche). Les granulats de la troisième couche ne sont pas aussi expansifs que ceux de la quatrième mais ils ont tout de même produit une fissuration nuisible.

Le béton contenant des granulats de la quatrième couche a subi une expansion sur place atteignant parfois 1.2 % après trois ans!

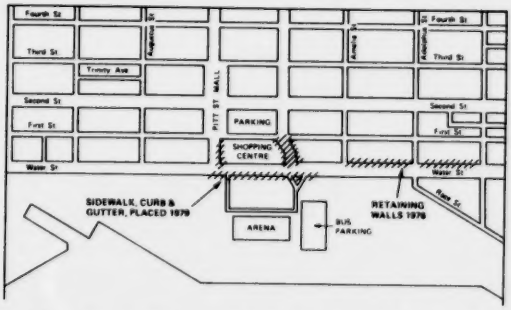


Figure 10 Carte piétonnière de la Ville de Cornwall

Pétrographie de la réaction alcali-carbonate

Béton

Les granulats grossiers étaient des calcaires, calcaires dolomitiques concassés de 19 mm. La partie fine comprenait un sable naturel de la région composé essentiellement de quartz et de feldspath. Le béton était fortement fissuré avec des fissures dans la pâte et autour des granulats grossiers et en travers des granulats de calcaire dolomitique. L'ettringite était souvent apparente sur les surfaces des fractures, dans les cavités et à l'interface pâte-granulat. Environ 50 % des granulats grossiers laissaient voir des anneaux minces sombres (1 mm) à leur surface. Il s'agissait de granulats de calcaires schisteux et dolomitiques silteux. Il y avait généralement un appauvrissement marqué d'hydroxyde de calcium dans la pâte autour de ces granulats.

Figure 11 Fissuration caractéristique d'une dalle de béton causée par la réaction alcali-carbonate après trois ans

Les granulats

Les roches responsables de l'éclatement du béton étaient des calcaires dolomitiques de la formation de Gull River de l'Ordovicien moyen. Le tableau 1 indique la composition chimique des échantillons qui donnent plus de 0.1 % d'expansion après quatre semaines dans l'essai d'expansion d'un cylindre de roche (ASTM C586). À l'examen mégascopique ces roches sont des calcaires dolomitiques à grain fin, gris moyen à foncé et à lits minces ou moyens. En lames minces, on distingue des cristaux dolomitiques rhomboédriques clairs d'environ 50 mm dans une matrice cryptocristalline de calcite micritique, argile et quartz très fin. Les cristaux dolomitiques représentent de 5 à 50 % de l'aire des sections minces. Il y a parfois des passées argileuses qui contiennent une forte concentration de sulfures de fer. On trouve souvent des fragments de fossiles et des valves de brachiopodes. En général, ce sont les échantillons qui contiennent le plus de minéraux argileux, tel que mesuré avec Al_2O_3, qui ont la plus forte expansion.

La formation de Gull River a environ 43 m d'épaisseur dans cette région. Elle comprend deux couches: la plus profonde contient des roches sensibles à la réaction alcali-carbonate. La formation Gull River est semblable aux formations Pamelia et Lowville de la région de Montréal.

Tableau 1

COMPOSANTS	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CaO:MgO
VALEURS EN POURCENTAGE	6 à 22	2.1 à 6.3	27 à 41	3.6 à 8.3	3.1 à 11.0

Figure 12 Le gonflement de la bordure en béton dans une courbe, causé par la réaction alcali-carbonate, a provoqué des ondulations et des fissures par contrainte dans l'asphalte adjacent après trois ans

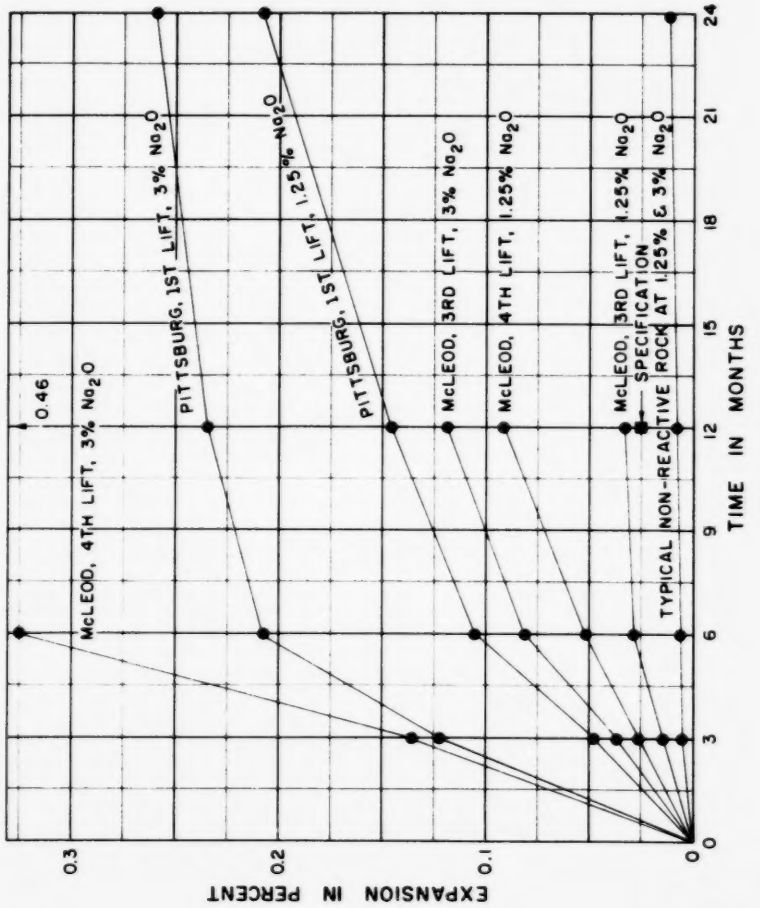


Figure 13 Données sur le gonflement d'éprouvettes prismatiques en béton (ACNOR A23.2-14A) pour la carrière McLeod à Cornwall et la carrière Pittsburg à Kingston, où la réaction a été identifiée pour la première fois

Figure 14 Dommages subis par le béton et fissuration de l'asphalte causés par la réaction alcali-carbonate après trois ans

RÉFÉRENCES

BERARD, J. et N. LAPIERRE; 1977, Réactivités aux alcalis du Grès de Potsdam dans les bétons; Revue Canadienne de génie civil V.4. pp332, 344.

LAPIERRE, N. et M. STERESCO; 1979; Comportement de la jonction du bloc prise d'eau-centrale hydroélectrique de l'aménagement et des cloisons à Beauharnois; Commission internationale des grands barrages, Troisième congrès sur les grands barrages, Nouvelle-Delhi, Q48 pp143 à 161.

LEWIS, D.W.; 1971; Qualitative Petrographic Interpretation of Potsdam Sandstone (Cambrian), Southwestern Quebec; Canadian Journal of Earth Sciences, v.8, pp853-882.

ROGERS, C.A.; 1985; Evaluation of the Potential for Expansion and Cracking due to the Alkali-Carbonate Reaction; Ontario Ministry of Transportation and Communications, Engineering Materials Office, Report EM-75, February, p38.

SWENSON, E.G.; 1957; A Reactive Aggregate Undetected by ASTM Tests; ASTM Bull. No. 226, Dec., pp48-51.